



PREFABRIKOVANÝ MOST – VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ, ZATÍŽENÍ A JEHO ROZNOS

1 ZADÁNÍ

Navrhněte prostorové uspořádání betonového silničního mostu o jednom poli s rozpětím L z prefabrikovaných betonových předpjatých nosníků spřažených s monolitickou deskou mostovky. Na řešeném mostním objektu je umístěna silnice kategorie a_s s **jednostranným/střechovitým** příčným sklonem (podle zadání, vlevo ve směru staničení je na mostě chodník šířky $a_{ch,1}$ a cyklostezka šířky $a_{c,1}$ a vpravo ve směru staničení je chodník šířky $a_{ch,2}$ a cyklostezka šířky $a_{c,2}$ (viz schéma). Osazení svodidel na mostě je uvedeno v každém jednotlivém zadání.

Vypracujte vzorový příčný řez v **měřítku 1:50** (levá polovina v poli, pravá polovina pohled na opěru). Na navržený příčný řez **umístěte zatěžovací model LM1 (UDL a TS) a stanovte návrhové účinky zatížení (ohybový moment uprostřed pole a posouvající sílu u podpory) pro nejvíce zatížený nosník.**

Je-li některá z hodnot zadána nulová, znamená to, že daný prvek se na mostě nevyskytuje. Na chodníku/cyklostezce je příčný sklon vždy 2 %, na římsě 4 %. **Šířky chodníků a cyklostezek doplňte o příslušné rezervy dle výkladu na cvičení.**

Typ, výšku a uspořádání prefabrikovaných nosníků zvolte podle typových podkladů. Veškeré podklady k vypracování příčného řezu najdete na stránkách: [Ing. Michal Drahorád, Ph.D., Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební, ČVUT v Praze \(cvut.cz\)](#) v sekci „Pomůcky“.

2 POPIS MOSTU A NOSNÉ KONSTRUKCE

Konstrukce je navržena jako trámový kolmý betonový most o jednom poli s nosnou konstrukcí na elastomerových ložiskách s plošně založenými monolitickými betonovými opěrami. Nosná konstrukce je v příčném řezu tvořena prefabrikovanými nosníky, které jsou na koncích mostu zmonolitněny železobetonovými příčníky. Opěry mostu jsou monolitické betonové založené plošně na železobetonových základových pasech. Horní povrch nosné konstrukce je navržen v konstantním jednostranném / střechovitém sklonu. Osa odvodnění izolace (úžlabí) je navržena ve vzdálenosti 250 mm od hrany římsy směrem k ose mostu. V podélném směru sleduje horní povrch nosné konstrukce vedení komunikace na mostě (konstantní spád).

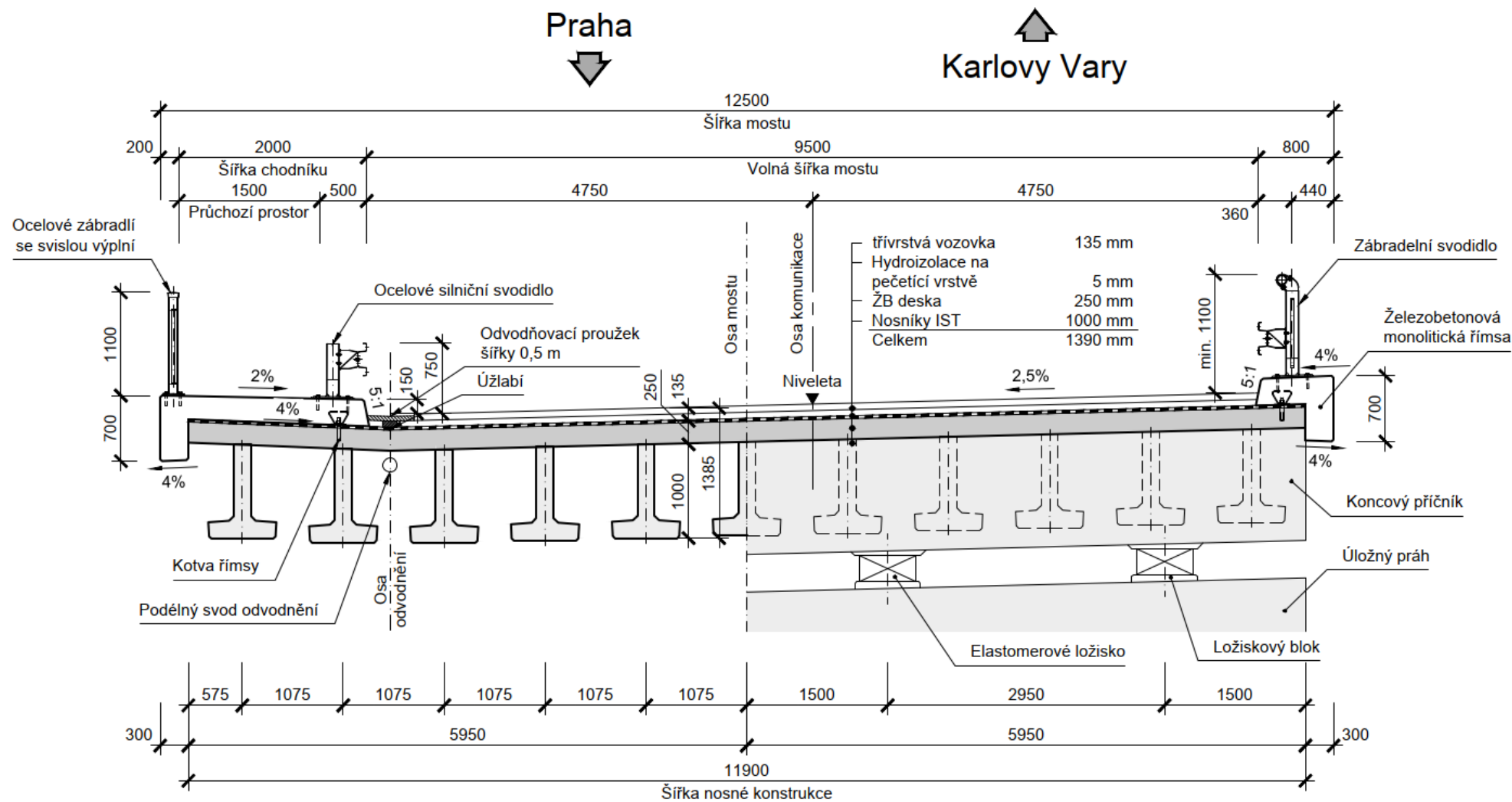
Na mostě je navržena třívrstvá vozovka tloušťky 135 mm mezi zvýšenými obrubami. Chodníky jsou navrženy dle zadání. Římsy na mostě jsou monolitické železobetonové a jsou na nich osazena ocelová zábradelní/silniční svodidla (dle zadání). Podél římsy vlevo ve směru staničení je navržen odvodňovací proužek podle VL4 (viz např. www.pjpk.cz).

Možné uspořádání mostu a nosné konstrukce je patrné z Obr. 1.



Řez - v poli

Řez - nad opěrou



Obr. 1 – Vzorový příčný řez

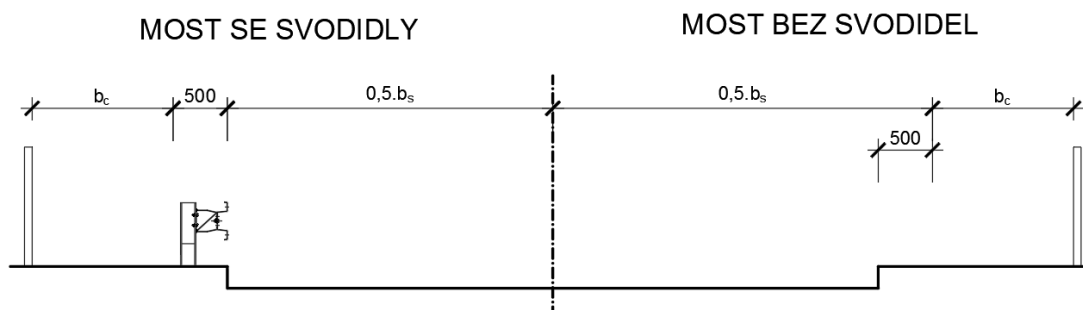


3 NÁVRH PŘÍČNÉHO USPOŘÁDÁNÍ MOSTU

3.1 Šířkové uspořádání na mostě

Šířkové uspořádání na mostě je ovlivněno uspořádáním komunikace na předpolích mostu. Pokud jsou na mostě osazena svodidla, je vzdálenost b_s (resp. v zadání a_s) (viz Obr. 2) mezi nimi stejná jako šířka zpevněné části komunikace na předpolích mostní konstrukce, tj. jejich hrana lícuje s hranou zpevněné krajnice na komunikaci. Hrana obrubníku lícuje s hranou svodidla a jeho tvar odpovídá použitému systému svodidel. Pokud jsou na mostě chodníky, uvažuje se pro osazení svodidla prostor šířky 0,5m (viz. Obr. 2). Podél obrubníku s osazenými svodidly se pak zřizuje odvodňovací žlábek litého asfaltu.

Nejsou-li na mostě svodidla, uvažuje se šířka komunikace b_s (resp. v zadání a_s) (tj. šířka její zpevněné části) s přesahem 0,5m do chodníku (viz. Obr. 2). Tato hodnota přesahu se pro určení průchozího prostoru b_c (resp. v zadání $a_{ch,i}$ nebo $a_{c,i}$) odečte od skutečné šířky chodníku (viz. Obr. 2).



Obr. 2 – Schéma šířkového upořádání na mostě pro variantu se svodidly a bez nich

Šířka komunikace na mostě se určí dle kategorie komunikace mimo mostní objekt, příp. s přihlédnutím k výhledovému stavu komunikace. Šířka průchozího prostoru na mostě se řídí intenzitou pěšího, příp. cyklistického, provozu. Základní šířka chodníku je 0,5m + šířka jednoho „chodeckého“ (0,75m), resp. „cyklistického“ (1 m), pruhu. Šířka servisních chodníků je min.0,5 m. Výška zábradlí je pro pěší provoz min. 1100 mm, pro provoz cyklistický potom min. 1300 mm. Uspořádání na mostě se řídí ČSN 73 6201.

3.2 Uspořádání prefabrikovaných nosníků v příčném řezu

Uspořádání prefabrikovaných nosníků v příčném řezu se řídí příslušným typovým podkladem. Pro nosníky platí, že jejich vzdálenost v příčném řezu se uvažuje hodnotou specifikovanou výrobcem. V předchozích úpravách byly možné i menší vzdálenosti, ale z důvodu kontroly a možnosti oprav prostoru mezi nosníky byla minimální vzdálenost mezi vnitřními líci prefabrikovaných nosníků stanovena na 300 mm. Rozměry prefabrikovaných nosníků jsou uvedeny v příslušném typovém podkladu v závislosti na rozpětí konstrukce. Výška nosníků se volí v závislosti na jejich rozpětí, a to vždy pro rozpětí stejné jako v příkladu zadané nebo nejbližší vyšší. Rozpětí nosníků se tak sice zmenší, nicméně je toto zkrácení ve prospěch bezpečnosti (sníží se poměr rozpětí ku výšce). U nosníků se (pro účely příkladu) provede dobetonování koncového ztužidla a uložení konstrukce na menší počet ložisek, než je počet nosníků.

4 POSTUP VÝPOČTU ZATÍŽENÍ A JEHO ROZNOSU

Postup výpočtu je v tomto vzorovém příkladu uspořádán tak, aby vyhovoval rozsahu výuky a jejímu zaměření. Výpočet je prováděn zjednodušeně tak, aby jej bylo možné zvládnout v rozsahu jednoho cvičení a současně tak, aby co nejvěrněji ilustroval praktický postup řešení.



Výsledky získané výpočtem jsou v důsledku uvedených skutečností na straně bezpečnosti. Jejich precizace by byla možná jen při navýšení pracnosti této úlohy, což není účelem tohoto příkladu.

5 ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE

5.1 Všeobecně

Zatížení konstrukce se stanovují podle příslušných návrhových předpisů ČSN EN.

V rámci zjednodušeného návrhu mostu jsou v tomto příkladu uvažována následující zatížení a vlivy:

- vlastní tíha nosné konstrukce, která se s ohledem na postup výstavby dělí na vlastní tíhu prefabrikovaných nosníků a vlastní tíhu desky mostovky
- ostatní stálé zatížení (mostní svršek a vybavení mostu)
- zatížení dopravou (v tomto příkladu pouze soustavou LM1)

Výpočet je proveden zjednodušeně, tak aby bylo možné jej provést ručně a ilustrovat na něm základní postupy. Globální zatížení je přepočteno na nejzatíženější nosník pomocí příčného roznášení na konstrukci. Odvozené působící zatížení v rozhodujících průřezích je následně uvažováno na celou délku nejzatíženějšího nosníku.

5.2 Zatížení stálá

5.2.1 Vlastní tíha

Vlastní tíha nosné konstrukce je vypočtena v závislosti na rozměrech prefabrikovaných nosníků, respektive na tloušťce ŽB desky. Vypočtené zatížení rovnoměrně rozdělíme mezi jednotlivé nosníky.

Vlastní tíha zatvrdlého betonu se uvažuje s objemovou tíhou 25 kN/m^3 . Hmotnost nezatvrdlé betonové směsi (26 kN/m^3) nebude v rámci výpočtu na cvičení uvažována.

5.2.2 Ostatní stálé zatížení

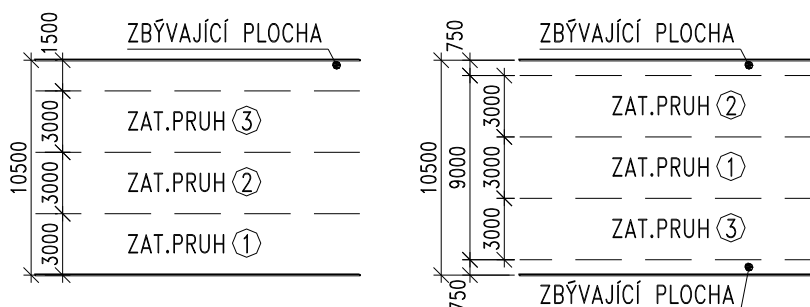
Ostatní stálé zatížení je představováno tíhou vozovky, říms a příslušenství mostu. Velikost zatížení je primárně stanovena s ohledem na zatížení na zatížení připadající na nejzatíženější nosník. V rámci cvičení nebudeme uvažovat nejnepříznivější účinky zatížení (uvažování rezervy pro přebalení vozovky o 50 mm).

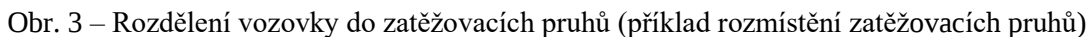
Svodidla, respektive zábradlí budeme v rámci cvičení uvažovat s působící hodnotou $1,0 \text{ kN/m}$.

5.3 Zatížení proměnná – zatížení dopravou

5.3.1 Rozdělení vozovky do zatěžovacích pruhů

Šířka vozovky mezi svodidly na mostě specifikuje zatěžovací plochu pro dopravní zatížení podle čl. 4.2.3 ČSN EN 1991-2. Zatěžovací plocha se rozdělí na zatěžovací pruhy šířky 3,0 m a zbývající plochu (viz Obr. 3). Pořadí jednotlivých pruhů a jejich umístění na konstrukci se může libovolně měnit tak, aby byl vyvozen maximální účinek na každý nosník mostu. Největší zatížení je vždy v pruhu 1, v ostatních pruzích se zatížení (s rostoucím pořadovým číslem) snižuje.





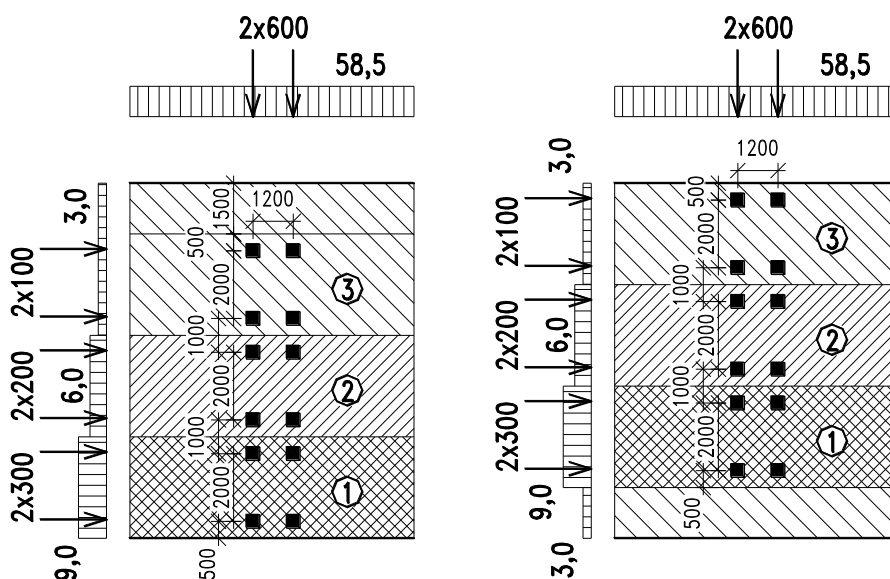
Model zatížení 1 sestává v jednotlivých zatěžovacích pruzích jednak z osamělých nápravových sil $\alpha_{Qi} \cdot Q_i$ a jednak z rovnoměrného zatížení $\alpha_{qi} \cdot q_i$. Hodnoty zatížení v jednotlivých pruzích jsou stanoveny podle článku 4.3.2 ČSN EN 1991-2. Pro charakteristické hodnoty zatížení jednotlivých pruhů jsou užity hodnoty součinitelů α_i odpovídající 1. skupině pozemních komunikací podle národní přílohy k ČSN EN 1991-2 a Změny Z4 (viz Tab. 1). Dotyková plocha jednoho kola je obecně čtvercová, o straně délky 0,4 m. **Dynamický součinitel zatížení se neuvažuje**, protože je již zahrnut v modelu zatížení 1 (LM1).

Idealizovaná dvounáprava může být v příslušném zatěžovacím pruhu umístěna jen jedna. Pro globální analýzu konstrukce (v tomto případě stanovení účinků zatížení na jednotlivé nosníky) se dvounápravy umístí do osy zatěžovacích pruhů. Pro lokální posouzení (např. posouzení desky mostovky) se nápravy umístí tak, aby vzdálenost dvou vedle sebe umístěných kol rozdílných náprav nebyla menší než 0,5 m.

Umístění	Soustředěné zatížení			Rovnoměrné zatížení		
	Q_{ik} [kN]	α_{Qi}	$\alpha_{Qi} \cdot Q_{ik}$ [kN]	$q_{ik} (q_{rk})$ [kN/m ²]	α_{qi}	$\alpha_{qi} \cdot q_{ik}$ [kN/m ²]
Pruh č.1	300	1,0	300	9,0	1,0	9,0
Pruh č.2	200	1,0	200	2,5	2,4	6,0
Pruh č.3	100	1,0	100	2,5	1,2	3,0
Další pruhy	0	0	0	2,5	1,2	3,0
Zbývající plocha (q_{rk})	0	0	0	2,5	1,2	3,0

Tab. 1 – Model zatížení 1 (LM1) - Zatížení jednotlivých pruhů

V případě, že by na mostě byly navrženy chodníky, bylo by jejich zatížení pro (pravděpodobně) rozhodující kombinaci s dopravním zatížením na vozovce tvořeno rovnoměrným zatížením o hodnotě (kombinační hodnota zatížení chodníků) **3,0 kN/m²** působícím současně s modelem zatížení LM1.



Obr. 4 – LM1 – Uspořádání zatížení v zatěžovacím prostoru pro stanovení rozhodujících účinků zatížení v příčném směru na jednotlivé nosníky (roznos zatížení) a odpovídající zatížení v podélném směru mostu (nahore)



Při stanovení účinků zatížení je u LM1 nutné pamatovat na skutečnost, že v kombinacích zatížení pro stanovení návrhových a častých hodnot vnitřních sil podle ČSN EN 1990/A2 jsou osamělé síly Q_{ik} násobeny jiným součinitelem kombinace ψ než rovnoměrná zatížení q_{ik} . Z tohoto důvodu je bezpodmínečně nutné vyšetřovat roznášení zatížení zvlášť pro osamělé síly a zvlášť pro rovnoměrná zatížení v pruzích.

5.4 Kombinace zatížení

Pro získání návrhových účinků zatížení na konstrukci z hlediska mezních stavů únosnosti se použije návrhová hodnota zatížení, která je rovna větší hodnotě z výrazů (6.10a, 6.10b):

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Součinitel zatížení stálého je uvažován s hodnotou $\gamma_{G,\text{sup}} = 1,35$ pro zatížení nepříznivé a $\gamma_{G,\text{inf}} = 1,00$ pro zatížení příznivé. Redukční součinitel zatížení stálého je uvažován hodnotou $\xi = 0,85$.

Součinitel zatížení proměnného (dopravního) je uvažován podle druhu a působení zatížení. Pro zatížení příznivé se uvažuje s hodnotou 0 , pro zatížení nepříznivé $\gamma_Q = 1,35$.

Kombinační součinitele nahodilého zatížení uvažujeme podle druhu zatížení. Použijí se následující hodnoty součinitelů ψ :

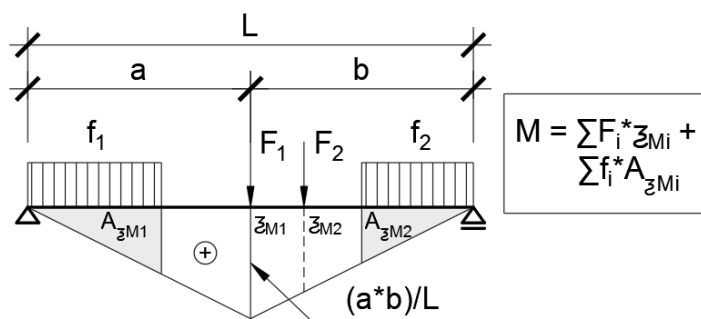
Osamělé síly	Rovnoměrné zatížení
$\psi_0 = 0,75$	$\psi_0 = 0,4$
$\psi_1 = 0,75$	$\psi_1 = 0,4$

Tab. 2 – Kombinační součinitele zatížení pro zatížení modelem zatížení 1 (LM1)

6 PRINCIPY STANOVENÍ ÚČINKŮ ZATÍŽENÍ

6.1 Podélný směr

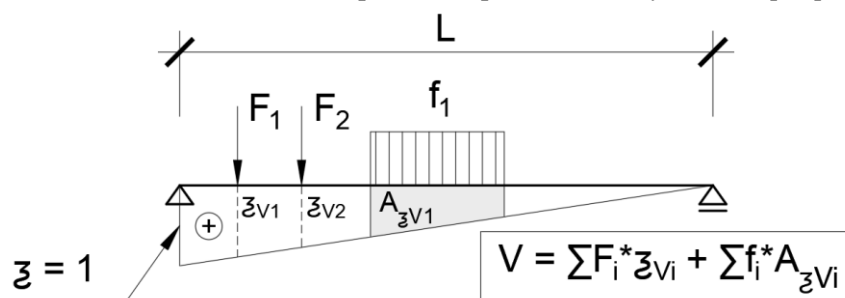
Pomocí příčinkové čáry určíme momenty od nahodilého zatížení v polovině rozpětí prostého nosníku. Při výpočtu zatížení se nedbá odlehčujících účinků zatížení, tj. účinků zatížení působícího na částech příčinkové čáry zkoumané veličiny s opačným znaménkem. V našem případě by se jednalo o převislé konce za ložisky konstrukce, jejichž zatížení by moment uprostřed rozpětí zmenšovalo. Zatížení se umístí do nejúčinnější polohy např. užitím winklerova kritéria.



Obr. 5 – Příčinková čára momentu uprostřed rozpětí na prostém nosníku pro obecné zatížení



Obdobným postupem určíme posouvající síly od nahodilého zatížení nad podporou. Při výpočtu zatížení se uvažuje maximální účinek zatížení s hodnotou pořadnice příčinkové čáry „1“ nad podporou viz schéma níže.



Obr. 6 – Příčinková čára posouvající síly nad podporou pro obecné zatížení

6.2 Roznášení zatížení v příčném směru

V rámci cvičení uvažujeme most jako nekonečně tuhý nosníkový rošt. Konstrukce je staticky neurčitá, proto přesné řešení je pracné pro ruční výpočet. Za předpokladu tuhého spojení trámů se ztužidlem a zanedbání kroucení můžeme provést výpočet poměrně zjednodušeně.

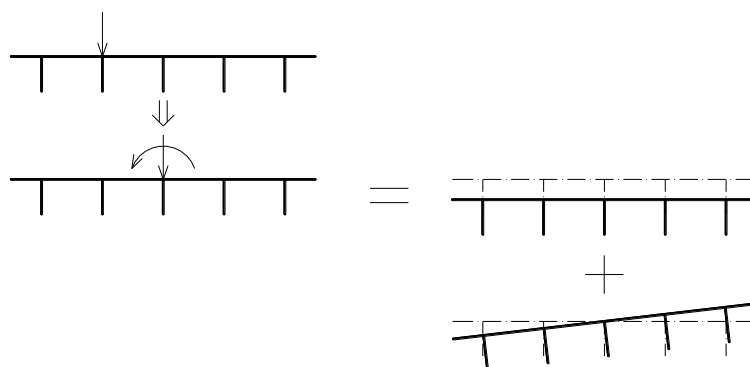
Příčné roznášení, resp. součinitele příčného roznášení, je stanoveno na prutovém modelu konstrukce. Model bude sestaven graficky na papír a sestává z betonové desky mostovky s vloženými pruty (žebry). Geometrie modelu konstrukce odpovídá navrženým rozměrům nosné konstrukce mostu z první části úlohy.

6.3 Příčinková čára příčného roznášení s dokonale tuhými ztužidly

6.3.1 Průřez uprostřed rozpětí

Použití této zjednodušené metody je podmíněno dostatečnou tuhostí nosníkového roštu trámového mostu.

Zatížení vyvodí silové účinky, které způsobí, za předpokladu dokonale tuhého chování příčného řezu, pokles a pootočení tohoto řezu, jako přemístění tuhého tělesa podepřeného v místech trámů pružnými podporami. Excentrické zatížení tedy převedeme na zatížení svislou silou a momentem (viz. Obr. 7), jimž přisoudíme „reakce“ v jednotlivých trámech příčného řezu, které odpovídají podílu zatížení přenášeného příslušným trámem, protože jsou všechny trámy shodné, uvažujeme jednotlivé podpory se shodnou tuhostí.



Obr. 7 – Rozklad zatížení v příčném řezu pro dokonale tuhé ztužidlo

Reakce v příslušném trámu je tak složena z reakce na svislou sílu a moment. Pořadnice příčinkové čáry je analogicky složena z příslušných příspěvků od svislého a momentového zatížení, tedy:

$$\eta_i = \eta'_i + \eta''_i$$



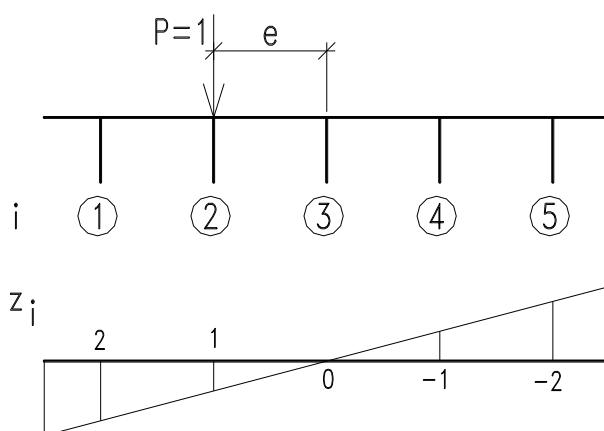
Svislá složka zatížení se distribuuje po jednotlivých trámech úměrně k jejich tuhosti, resp. v poměru jejich tuhosti k tuhosti celého příčného řezu. Pro svislou složku pořadnice příčinkové čáry tedy dostaneme výraz:

$$\eta'_i = k_i \cdot \frac{1}{\sum_1^n k_j},$$

kde k_i - tuhost trámu v příčném řezu, pro který počítáme pořadnici příčinkové čáry

$\sum_1^n k_j$ - suma tuhostí všech trámů v příčném řezu, tj. celková tuhost příčného řezu

Momentová složka pořadnice příčinkové čáry se určí za předpokladu pootočení příčného řezu jako tuhého tělesa.



Obr. 8 – Rozklad zatížení pro momentovou složku

Když e vyjadřuje vzdálenost i -tého trámu od osy otáčení (těžiště příčného řezu), k_i jeho tuhost a z_i „svislou“ pořadnici pootočení (v našem případě přímo úměrnou hodnotě e , resp. jí číselně rovnou), určíme velikost momentové složky pořadnice příčinkové čáry z následujícího vztahu:

$$\eta''_i = k_i \cdot \frac{e \cdot z_i}{\sum_1^n k_j \cdot z_i^2}$$

Pozn.: Hodnotu k_i , resp. hodnoty tuhostí jednotlivých trámů k_j , můžeme uvažovat jak skutečnými číselnými hodnotami, tak hodnotami relativními, vztaženými k tuhosti jednoho trámu. Tzn., že pokud budou mít všechny trámy v příčném řezu stejnou tuhost, volíme k_i , resp. k_j , rovny 1.



Pro běžné případy trámových mostů, které mají trámy s konstantní vzdáleností a tuhostí a mají tuhá ztužidla, jsou pořadnice čáry příčného roznosu η_i uvedeny v následující tabulce:

Počet trámů	h_i	Břemeno nad trámem								Násobitel
	Trám i	1	2	3	4	5	6	7	8	
3	1	5	2	-1						1/6
	2	2	2	2						
4	1	7	4	1	-2					1/10
	2	4	3	2	1					
5	1	6	4	2	0	-2				1/10
	2	4	3	2	1	0				
	3	2	2	2	2	2				
6	1	55	40	25	10	-5	-20			1/105
	2	40	31	22	13	4	-5			
	3	25	22	19	16	13	10			
7	1	13	10	7	4	1	-2	-5		1/28
	2	10	8	6	4	2	0	-2		
	3	7	6	5	4	3	2	1		
	4	4	4	4	4	4	4	4		
8	1	70	56	42	28	14	0	-14	-28	1/168
	2	56	46	36	26	16	6	-4	-14	
	3	42	36	30	24	18	12	6	0	
	4	28	26	24	22	20	18	16	14	

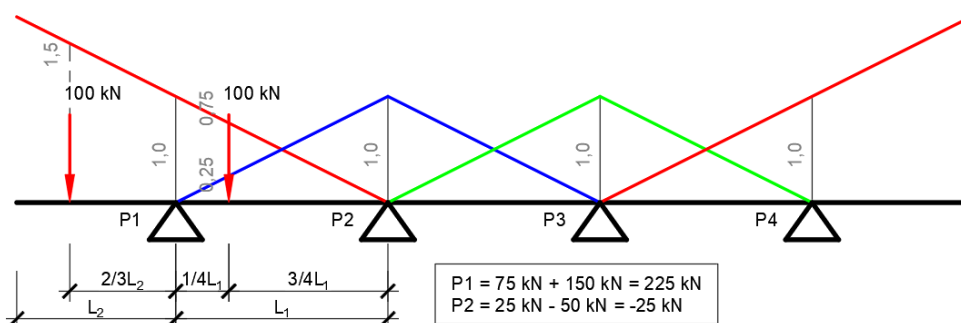
Tab. 3 – Pořadnice příčného roznosu pro běžné případy trámových mostů

6.3.2 Průřez nad podporou

V případě posouvajících sil uvažujeme konzervativní chování konstrukce u podpory. Vzhledem k tomu, že je konstrukce uložena na ložiskách, nemůže docházet k deformaci, a tudíž i příčnému roznosu mezi jednotlivými nosníky. Proto zavádíme poměrné přerozdělení sil mezi nosníky podle polohy jednotlivých zatížení.

Pro spojitě zatížení na konstrukci uvažujeme působení zatížení na efektivní šířce vložených žeber, která je definována jako polovina osově vzdálenosti mezi jednotlivými nosníky, resp. vyložením konzoly u krajních nosníků.

Osamělé síly jsou rozloženy mezi dva sousední nosníky podle polohy působišť síly vůči polovině osově vzdálenosti mezi jednotlivými nosníky viz obr 9.



Obr. 9 – Obecné schéma rozložení osamělé síly v příčném řezu



6.4 Vyhodnocení součinitelů příčného roznosu

Vyhodnocení součinitelů příčného roznášení je provedeno z příslušných vnitřních sil (momentů a posouvajících sil) na žebrech získaných analýzou prutového výpočetního modelu konstrukce. Vnitřní síly na žebrech jsou dány součtem účinků zatížení na desce mostovky a na vloženém prutu.

Součinitel příčného roznosu r_i (např. pro momenty) pro i -tý nosník je potom dán vztahem:

$$r_i = \frac{M_i}{\sum M} ,$$

kde M_i je momentový účinek zatížení na i -tém nosníku ve zkoumaném příčném řezu,

$\sum M$ je momentový účinek zatížení v celém příčném řezu (moment od stejné sestavy zatížení na nosníkovém modelu konstrukce), resp. součet momentových účinků zatížení na všech nosnících ve zkoumaném příčném řezu.

Při vyhodnocení příčného roznášení modelu zatížení LM1, je třeba zvlášť vyhodnotit součinitele roznosu pro zatížení nápravovými silami Q_i a pro rovnoměrné zatížení v pruzích, protože součinitelé ψ_0 a ψ_1 jsou pro tyto složky rozdílné.

Z hlediska vyhodnocení příčného roznášení je z výše uvedeného výkladu patrné, že pro veškeré z aplikovaných modelů zatížení lze pro návrh konstrukce uvažovat vždy pouze jeden (rozhodující) nosník. Minimální zatížení (účinky zatížení) nosníků nejsou vždy pouze kladné, dochází tedy k odlehčení krajních nosníků a nutnosti redukce zatížení na mostě (vyloučení části zatížení na odlehčujících částech příčinkové plochy).

Z hlediska přesného posouzení by to znamenalo posoudit všechny rozhodující nosníky samostatně pro příslušné kombinace ohybových a smykových účinků zatížení.